

## <鈴木賞>準賞

### 佐鳴湖に生息するヨシの浄化作用の調査

#### 1 研究の動機

私たちは学校の近くにある佐鳴湖に興味をもった。なぜなら、佐鳴湖は 2001 年から日本の湖沼の中で最も COD の値が高くなり、事実上、一番汚い湖沼とされているからだ。

なぜ佐鳴湖は汚いのか。また佐鳴湖を管理する県や市はどのような対策をとっているのか。そのような点において疑問を感じ、研究を始めた。

研究を進めていくにつれ、私たちは湖の周りに水生植物のヨシが多く生息していることに気づいた。様々な文献等を読むと、ヨシには浄化作用があることが分かった。そこで私たちは、ヨシが水質にどのような影響を与えているのかを調べることにした。

#### 2 研究内容

まず、研究を始めるにあたり、佐鳴湖がどのような湖であるかを現地に行ったり文献を用いたりして調査した。

面積	約 120ha
全長	約 2.3km
幅	約 0.6km
全周	約 5.5km
水深	平均 2m 最大 2.5m
水量	約 240 万 <sup>3</sup> m
流域面積	約 1730ha

##### (1) 佐鳴湖の水質

昭和 30 年代はじめ、透明度が 1.0m ほどだったのが昭和 50 年には 0.2m ほどにまで下がった。COD は昭和 47 年度の 18mg/l から 12mg/l まで下がっているが、依然として環境基準値である 5mg/l の達成には程遠い状況になっている。

##### (2) 汚濁原因

佐鳴湖の汚濁原因の 1 つとして、上流から流入してくる家庭排水等に含まれる窒素やリン等を栄養源とし、太陽光をエネルギーにして、植物性プランクトンが異常繁殖することが挙げられる。こ

れを、

富栄養化現象という。また、佐鳴湖への流入水量が少なく、湖水の入れ替わりが悪くなっていることが挙げられる。

#### 3 ヨシ・ガマのおおまかな分布

我々は野外調査の予備調査として、佐鳴湖のヨシ・ヒメガマの大きな分布状況を把握するために佐鳴湖に行き、既存の佐鳴湖の地図にヨシ・ヒメガマの分布を記録した。湖岸周辺の遊歩道からとボートによる湖上からの両調査によって、可能な限り正確な分布図を製作した。以下が、その分布図である。



大まかにヨシ群の面積を計算したところ約 1.72ha になった。佐鳴湖の面積約 120ha に対し、ヨシ群は約 1.4% を占めるということになる。

- (1) 北岸……ヨシとガマの分布が比較的自然に近い状態になっている
- (2) 南岸……行政が植えたヨシが大量に分布している(ガマは植わっていない)
- (3) 東岸……ガマが非常に少なく、ヨシが長く連なって湖岸に沿って分布している
- (4) 西岸……湖岸が人工的に整備されヨシはほぼ植わっていない

#### 4 室内実験

ヨシに浄化作用があることについて室内実験を行って確かめてみることにした(二度行いまとめて記載した)。

##### (1) 化学分析の項目

ア COD (化学的酸素要求量)

→湖沼における水質汚濁の指標

イ DO (溶存酸素)

ウ クロロフィル a・クロロフィル b・クロロフィル c・フェオ色素

→クロロフィル a の現存量は直接水の濁りに作用する。またほとんどの植物プランクトンに含まれる物質なので、植物プランクトンの量の目安になる。

エ NH<sub>4</sub>-N (アンモニア態窒素)

オ NO<sub>2</sub>-N (亜硝酸態窒素)

カ NO<sub>3</sub>-N (硝酸態窒素)

キ T-P (全リン)

ク D・T-P(溶存性全リン)

ケ PO<sub>4</sub>-P (リン酸態リン)

##### (2) リンの概要



##### (3) 実験方法

ア 佐鳴湖でヨシ 80 本、底質 20000 c m<sup>3</sup>×2、湖水 200×2 を採取する。

イ 片方のポリバケツに、採取したヨシ 80 本、底質 20000c m<sup>3</sup>、湖水 200 を入れ水面をラップで覆う(以後「ヨシ有」とする)。もう一方には、底質・湖水のみを同量入れ「ヨシ有」と同様に水面をラップで覆う(以後「対照」とする)。

ウ 毎日 300ml 採水し、ろ紙で 100ml ろ過する。COD、DO、クロロフィル a・b・c・フェオ色素、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-P、D・T-P、PO<sub>4</sub>-P を測定 (DO・T-P の試水は原液、それ以外の試水はろ過水を用いる。COD は両

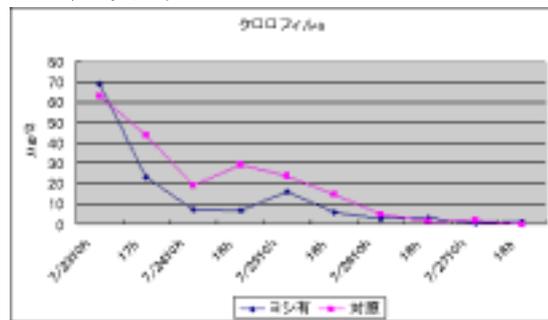
方用いる。)

#### (4) 室内実験結果

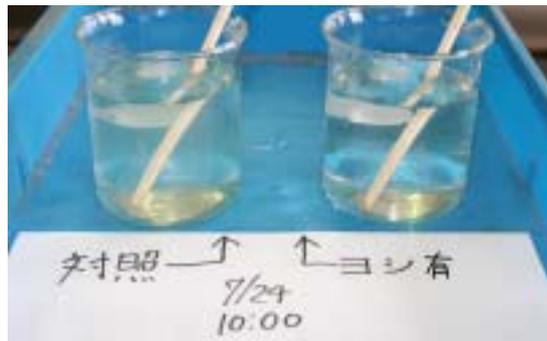
##### ア 効果が見られた点

効果が見られた項目はNO<sub>2</sub>-Nとクロロフィル a だった。クロロフィル a に関しては、1 日目から 2 日目にかけての減少が著しかった。グラフを見ると「ヨシ有」も「対照」も減少し最終的には値が 0 になっているが、7 月 23 日 10 時から同日 17 時までを見ると分かるように、早い段階で「ヨシ有」の方が値が低くなっているため、これは浄化作用によるものではないかと考えられる。

##### ↓一次実験のグラフ



以下の写真は、クロロフィル a の 2 日目 10 時に採水し撮影したものである。同日時クロロフィル a のグラフの値を見ると、「ヨシ有」の値の方が低くなっている。「対照」は、まだはっきりと濁っていたが、「ヨシ有」の水は、水道水と比較してわずかに緑色に霞む程度だった。つまり「ヨシ有」の水は、現地で採水してからわずか一日足らずで、「対照」と同じような濁り具合からここまで透明になったのである。



##### イ 水の濁りについて

顧問の辻野先生によると、水の濁り、とりわけ緑色の濁りは、植物プランクトンが原因であるということだった。植物プランクトンに含まれる葉緑素の緑色が、植物プランクトンが大量に存在することで初めて湖水中に見られるのである。佐鳴

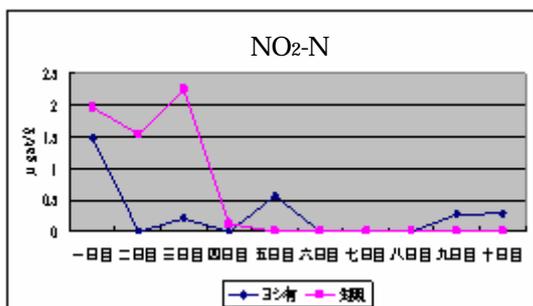
湖ではそのような植物プランクトンが富栄養化現象(→研究内容の汚濁原因参照)によって大量発生し、湖水が緑色になっている。そして、一般に水が緑色に濁っているとその水は汚れていると判断されるので、佐鳴湖は汚いと言われている。

ではどうして水の濁りが無くなったのか。

「ヨシ有」の水が透明になった原因としてヨシの根や茎に多く生息する微生物の存在が考えられる。湖水中には様々な微生物が生息しており、中には植物プランクトンを分解するものもいる。水中に浸かっているヨシの根や茎にはそうした微生物が多く集まりやすい。ヨシを採取したとき、根の周りにいる微生物も同時に採取し「ヨシ有」としたため、普通の湖水である「対照」の水中よりも速く植物プランクトンの分解が進んだ。それ故、水の濁りが無くなったのではないかと思われる。

また、佐鳴湖の野外調査に出かけた際にヨシ群の中に入り水を見てみると、明らかに普通の湖水よりも透き通っていることに気付いた。その原因は室内実験の「ヨシ有」と同じであると思われるが、一つ特別な要因として、背の高いヨシが湖水中に日光が届くのを遮断したということが考えられる。湖水中に日光が届かないと、植物プランクトンは光合成を行うことができないため、生存することができなくなる。また、新しい植物プランクトンも現れない。つまり、ヨシの水の濁りを無くす作用は実際の湖でも生じているのである。

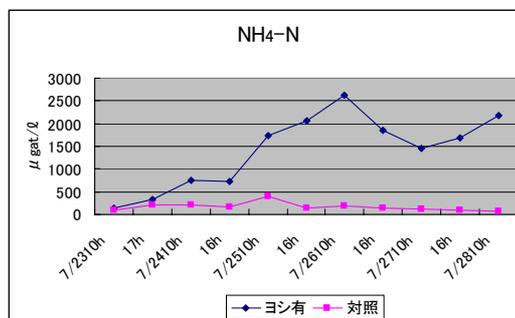
NO<sub>2</sub>-N に関しては、1日目から2日目にかけての対照における減少の仕方よりもヨシにおける減少の仕方の方が大きく、早い段階で値が低下している。このためヨシが減少を促進していると考えることができる。 ↓二次実験のグラフ



#### ウ 効果が見られなかった点

NH<sub>4</sub>-N に関しては、「対照」ではほぼ横這いで低い値にとどまっているのに対して、「ヨシ有」

では実験開始当初から 26 日の 10 時にかけて値が増加し続け、最終的に「対照」を大きく上回ってしまった。 ↓一次実験のグラフ



※DO・クロロフィル b・クロロフィル c・フェオ色素・NO<sub>3</sub>-N・PO<sub>4</sub>-P・リンは、測定はしたものの、浄化作用の有無に明確な手がかりとはならなかったので記載しなかった。

## 5 室内実験考察

### (1) クロロフィル a

クロロフィル a の値は、「ヨシ有」、「対照」共に最初の 24 時間で大きく減少しているが、「ヨシ有」の方がその程度が大きかった。その後最終的には「ヨシ有」も「対照」もほぼ 0 にまで下がっているが、「ヨシ有」のほうがより早く値が減少しているため、クロロフィル a に対してはヨシがある程度の効果を見せていると考えられる。

### (2) NH<sub>4</sub>-N

NH<sub>4</sub>-N は NO<sub>2</sub>-N と正反対であると言える結果を示した。「対照」がほぼ一貫して低い値を示していたのに対し、「ヨシ有」は実験開始時から大きく上昇し、「対照」をはるかに上回った。このことから、NH<sub>4</sub>-N に関してはヨシが値の増加に作用したと考えられる。

### (3) NO<sub>2</sub>-N

NO<sub>2</sub>-N は「ヨシ有」の 1 日目から 2 日目にかけての急激な減少に注目した。その期間に「対照」の値はあまり変化していないことから、この変化はヨシによるものである可能性が高い。一方「対照」も 4 日目から 5 日目にかけて急激に減少しているが、これは、亜硝酸酸化細菌やアンモニア酸化細菌による硝化作用が原因だと考えられる。硝化作用とは、それらの細菌によって NH<sub>4</sub>-N が NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N の順に酸化される現象のことである。

## 6 室内実験まとめ

今回、2 度にわたる室内実験を行いヨシの浄化作用の有無を確認し、分析結果をグラフとして残した。室内実験は、実際に佐鳴湖の中で調査を行う前の予備調査としての役割を果たした。

室内実験では、ヨシによる水質への影響を多く見ることができた。まず、NO<sub>2</sub>-N、クロロフィル a においては、ヨシによる浄化作用によってそれらの現存量が減少するのが確認できた。それらの項目では、実験後半はあまり変化が見られなかったが、実験開始直後は「対照」と比べて確かに現存量の減少が確認でき、ヨシの浄化作用の影響があることを確信した。NH<sub>4</sub>-N においてはヨシ自身から生じる NH<sub>4</sub>-N によって現存量が増え、悪影響を与える結果となった。このようにヨシには全ての項目において浄化作用があるのではないということが分かった。

## 7 野外調査

前述の室内実験では、ヨシの浄化作用を人工的かつ閉鎖的な環境で調査した。だが実際の湖では自然の様々な要素が非常に複雑な形で絡み合っているため野外調査を行う必要があると考えた。これも二度調査した。

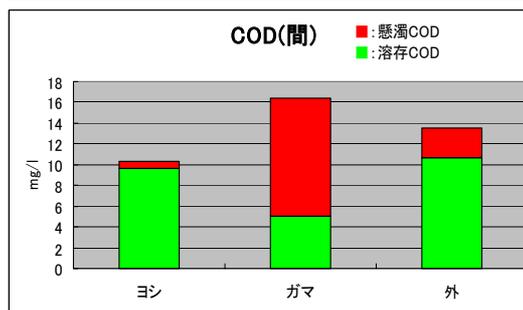
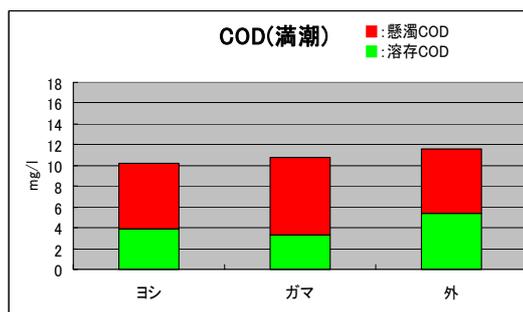
### (1)調査方法

- ア 佐鳴湖で、「ヨシ」、「ガマ」、「外」の3地点を定める。(ヨシ、ガマ付近で採水したものを「ヨシ」「ガマ」とし、それらの植物が周りに分布していない地点を「外」とした。)
- イ それぞれの地点で、満潮、満潮と干潮の間(以後「間」と表記)、干潮の時間帯で採水をする。
- ウ それを室内と同じ分析項目で調べた。

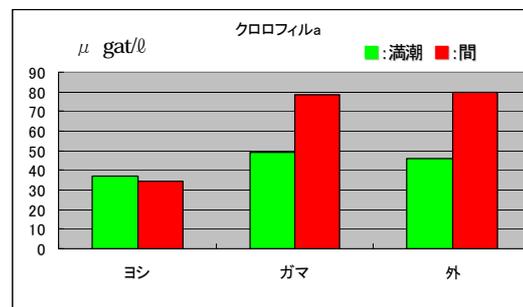
## 8 野外調査結果

### ア 効果が見られた点

図に見られるように、「ヨシ」では満潮から間の時間帯にかけての、懸濁態 COD の割合の低下と溶存態 COD の割合の増加が顕著に見られた。「外」でも「ヨシ」と同じような割合の変化があったが、「ヨシ」に比べるとその程度は小さかった。「ガマ」においては、懸濁態 COD の値も増加していた。「ヨシ」の全 COD の値は変化が無かったので、「ヨシ」が懸濁 COD を溶存 COD に変換しているのではないかと考えられる。(右上段の 2 つの図)

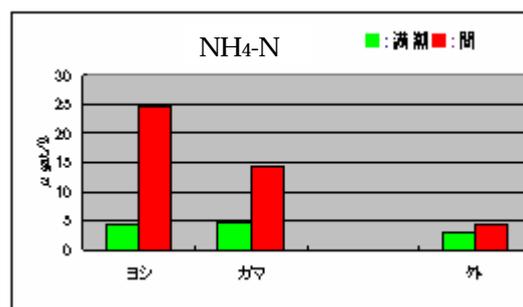


クロロフィル a では、満潮から間の時間帯にかけて「ガマ」「外」の値が大幅に増加しているのに対し、「ヨシ」の値のみわずかではあるが減少した。(下図)



### イ 効果が見られなかった点

NH<sub>4</sub>-N では、満潮時はどの場所においても同じような値だったが、満潮から間の時間帯にかけて、「外」があまり値の変化が見られないのに対し、「ヨシ」「ガマ」では大きく増加してしまった。(下図)



## 9 野外調査考察

### ・COD

記載はしていないが、室内実験の際は値が増加した。二次野外調査で懸濁態と溶存態に分けて調査したところ、その増加の原因は溶存態 COD の増加によるものだと分かった。

### ・クロロフィル a

クロロフィル a に関しては、一次でも二次でも値の減少、または増加の抑制が顕著であった。室内実験でも同様の結果が得られているので、クロロフィル a に対して浄化作用が働いているのは間違いないと言える。

### ・NH<sub>4</sub>-N

NH<sub>4</sub>-N は満潮では 3 ヲ所とも値が低かったが、間の時間帯では「ヨシ」「ガマ」の値が著しく増加している。特に「ヨシ」の値が増加している。これは、満潮・間の時間帯の「ヨシ」において、クロロフィル a の値が低く、NH<sub>4</sub>-N が植物プランクトンに吸収されなかったのが原因の一つだと考えられる。

## 10 まとめ

※本文では野外調査で採水を行った場所の略称として、「外」、「ヨシ」、「ガマ」を用いる。

野外調査でヨシの浄化作用の効果があつたものの 1 つにクロロフィル a がある。調査の結果では、「外」や「ガマ」のクロロフィル a の測定値と比べて、「ヨシ」のそれは低かった。現地において、ヨシは密集して生えていた。ガマはヨシほど密集していなかったが、ヨシを囲むように生えていた。そして「ガマ」と「外」のクロロフィル a の値は同じくらいに高かった。それに比べて「ヨシ」ではクロロフィル a の値が低く、大きな違いが見られた。このことからヨシは浄化作用を持っていると結論付けることが出来る。これ以外にも NO<sub>2</sub>-N の項目において浄化作用が働いているのが見られ、実際にヨシに浄化作用があることが証明された。

しかし、NH<sub>4</sub>-N などヨシの浄化作用の効果が見られないものも存在した。特に当初我々が佐鳴湖に

興味を持つきっかけとなり湖沼の汚染具合の指標となっている COD に関しては、懸濁態 COD の値は低いが、溶存態 COD の値が高く、COD 全体の値としては「外」と変わりなくヨシによる浄化作用が見られないという結果となった。佐鳴湖は COD の値が日本一高いことで「一番汚い湖」と言われている。COD の値を下げることで水質の改善を目指していた我々としては、とても残念である。

いずれにせよ、ヨシには万能ではないが浄化作用があるということはこの研究によって証明されたと言えるだろう。

## 11 参考文献

- (1) 西條 八束・三田村 緒佐武 [新編湖沼調査法] 講談社サイエンティフィック
- (2) 沖野外輝夫 [諏訪湖 ミクロコスモスの生物] 八坂書房
- (3) 日本水産資源保護協会 [新編水質汚濁調査指針] 恒星社厚生閣
- (4) 高安 克巳編 他講師グループ [汽水域の科学] たたら書房
- (5) 小山 忠四郎, 半田 暢彦, 杉村 行勇, [湖水・海水の分析] 講談社サイエンティフィック
- (6) 浜松市環境部環境保全課 [よみがえれ 佐鳴湖] 浜松市
- (7) 浜松湖南高等学校自然科学部 [佐鳴湖は本当に汚いのか] 浜松湖南高等学校

## 12 謝辞

この研究を行うにあたり、多くの方々に御協力、御指導を頂きました。ここで改めてお礼を申し上げます。(敬称略)

- (1) 入野漁業組合 組合長 田邊 陽三
- (2) 浜松湖南高等学校 校長 鈴木 重男
- (3) 浜松市保健所環境保全課
- (4) 静岡県総合庁舎 土木建築課